

N° D'ORDRE :

839.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. CHARLES CAMICHEL,

Ancien Élève de l'École Normale,
Agréé des Sciences physiques.

1^{re} THÈSE. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE SUR L'ABSORPTION DE LA LUMIÈRE
PAR LES CRISTAUX.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 13 Février 1895, devant la Commission d'examen.

MM. FRIEDEL, *Président.*

BOUTY, }
PELLAT, } *Examinateurs.*

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1895



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553826_0053

N° D'ORDRE :

859.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. CHARLES CAMICHEL,

Ancien Élève de l'École Normale,
Agréé des Sciences physiques.

1^{re} THÈSE. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE SUR L'ABSORPTION DE LA LUMIÈRE
PAR LES CRISTAUX.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 13 Février 1895, devant la Commission d'examen.

MM. FRIEDEL, *Président.*

BOUTY, }
PELLAT, } *Examineurs.*

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1895

ACADÉMIE DE PARIS.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

	MM.	
DOYEN	DARBOUX, Professeur.....	Géométrie supérieure.
PROFESSEUR HONORAIRE	PASTEUR.	
	DE LACAZE-DUTHIERS....	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	HERMITE.....	Algèbre supérieure.
	TROOST.....	Chimie.
	FRIEDEL.....	Chimie organique.
	TISSERAND.....	Astronomie.
	LIPPMANN.....	Physique.
	HAUTEFEUILLE.....	Minéralogie.
	BOUTY.....	Physique.
	APPELL.....	Mécanique rationnelle.
	DUGLAUX.....	Chimie biologique.
PROFESSEURS	BOUSSINESQ.....	Mécanique physique et expé- rimentale.
	PICARD.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	POINCARÉ.....	Calcul des probabilités, Phy- sique mathématique.
	YVES DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	BONNIER.....	Botanique.
	DASTRÉ.....	Physiologie.
	DITTE.....	Chimie.
	MUNIER-CHALMAS.....	Géologie.
	GIARD.....	Évolution des êtres organisés.
	WOLF.....	Astronomie.
PROFESSEURS ADJOINTS	CHATIN.....	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	JOLY.....	Chimie.
	PELLAT.....	Physique.
SECRÉTAIRE	FOUSSEREAU.	

A MES MAITRES

MESSIEURS VIOLLE ET BRILLOUIN.

Hommage de respectueuse reconnaissance.

PREMIÈRE THÈSE.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

SUR

L'ABSORPTION DE LA LUMIÈRE

PAR

LES CRISTAUX.

INTRODUCTION.

L'absorption d'une vibration lumineuse par un milieu anisotrope coloré varie avec l'orientation de cette vibration par rapport aux axes cristallographiques.

Ce phénomène, connu sous le nom de *pléochroïsme*, a été l'objet de nombreux travaux expérimentaux et théoriques. On a démontré que l'absorption, comme toutes les propriétés physiques, satisfait aux conditions de symétrie cristalline, qu'elle ne dépend que de la direction de la vibration, et ce sont là des faits admis aujourd'hui par tout le monde.

Pour représenter la variation de l'absorption avec l'orientation de la vibration, on a proposé plusieurs théories, que nous indiquerons rapidement.

1° *Théorie de M. H. Becquerel* ⁽¹⁾.

Soient A_0 l'amplitude d'une vibration incidente, λ , μ , ν les cosinus directeurs de cette vibration rapportée aux

(1) Voir *Annales de Chimie et de Physique*, 6^e série, t. XIV; 1888; et *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CVIII, p. 894; 1889.

trois axes principaux du cristal; ses composantes suivant les trois axes coordonnés sont

$$A_0\lambda, \quad A_0\mu, \quad A_0\nu.$$

Soient k_1, k_2, k_3 les coefficients d'absorption propres à chacune de ces vibrations; après avoir traversé l'épaisseur z du cristal, elles deviennent

$$A_0\lambda e^{-k_1 z}, \quad A_0\mu e^{-k_2 z}, \quad A_0\nu e^{-k_3 z}.$$

Si nous les recomposons, leur résultante ne sera plus parallèle à la vibration primitive. M. Becquerel admet que la composante de cette résultante parallèle à la vibration primitive est seule efficace.

L'amplitude résultante est donc

$$A = A_0(\lambda^2 e^{-k_1 z} + \mu^2 e^{-k_2 z} + \nu^2 e^{-k_3 z}).$$

M. Becquerel a trouvé que cette formule était d'accord avec l'expérience.

2° Théorie de l'ellipsoïde d'absorption.

Par analogie avec les corps isotropes, on peut admettre que l'intensité I_0 d'une vibration simple devient

$$I = I_0 e^{-\alpha z}$$

en traversant l'épaisseur z du cristal.

En admettant, avec M. Mallard ⁽¹⁾, que l'absorption est due au travail d'une force résistante, dont la direction varie avec celle de la vibration, on est conduit à représenter α par la formule

$$(1) \quad \alpha = \alpha_1 \lambda^2 + \beta_1 \mu^2 + \gamma_1 \nu^2.$$

(1) MALLARD, *Cristallographie*, t. II, p. 353, et *Bulletin de la Société minér.* — Voir aussi MASCART, *Optique*, t. II, p. 207.

λ, μ, ν sont les cosinus directeurs de la vibration avec trois axes coordonnés rectangulaires; $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ sont les coefficients d'absorption relatifs aux cas où la lumière est polarisée dans les trois plans des yz , des zx et des xy . Le facteur $\sqrt{\alpha}$ est la perpendiculaire, parallèle à la vibration, abaissée du centre sur le plan tangent à l'ellipsoïde

$$\frac{x^2}{\alpha_1} + \frac{y^2}{\beta_1} + \frac{z^2}{\gamma_1} = 1,$$

que l'on nomme *ellipsoïde d'absorption*; l'inverse du facteur $\sqrt{\alpha}$ est le rayon vecteur, parallèle à la vibration, de l'ellipsoïde réciproque

$$\alpha_1 x^2 + \beta_1 y^2 + \gamma_1 z^2 = 1,$$

que l'on appelle *ellipsoïde inverse d'absorption*.

D'après certains auteurs [Grailich (1), par exemple], les ellipsoïdes d'absorption et d'élasticité optique ont les mêmes axes. M. Mallard émet des doutes sur cette coïncidence.

3° Expériences de MM. Laspeyres et Ramsay.

D'après M. Laspeyres et M. Ramsay (2), l'absorption d'une vibration située dans le plan de symétrie d'un cristal clinorhombique n'est pas symétrique par rapport aux axes principaux d'élasticité optique et les directions de cette vibration correspondant au maxima et au minima d'absorption ne sont pas rectangulaires.

Si les résultats précédents sont exacts, il faut rejeter la théorie de M. Becquerel, celle de l'ellipsoïde d'ab-

(1) GRAILICH, *Krystall. Opt. Unters.*; 1858.

(2) LASPEYRES, *Zeitsch. f. Krystall.*, t. IV; 1880. — RAMSAY, *Id.*, t. XIII; 1887. — Voir aussi DRUDE, *Zeitsch. f. Krystall.*, t. XIII; 1887.

sorption et toutes les théories qui n'en rendent pas compte.

Ce résumé succinct des hypothèses actuelles sur l'absorption de la lumière par les cristaux montre suffisamment que plusieurs points sont à éclaircir, en particulier :

Une seule exponentielle suffit-elle pour représenter les phénomènes?

La théorie de l'ellipsoïde d'absorption est-elle réellement incompatible avec l'expérience?

Telles sont les questions que je me suis proposé de résoudre dans les recherches que je vais exposer. J'y ai ajouté cette question tout à fait fondamentale :

Les équations sont-elles toujours linéaires dans les milieux absorbants? Et je l'ai traitée dès le début.

Comme mes expériences ont porté sur un nombre relativement considérable de cristaux, j'ai pu aborder cette autre question :

Les cristaux naturels, colorés chimiquement ⁽²⁾ et colorés artificiellement, suivent-ils les mêmes lois?

CHAPITRE I.

CHOIX D'UNE MÉTHODE EXPÉRIMENTALE.

Pour mesurer l'absorption de la lumière ⁽¹⁾, on se sert de spectrophotomètres; ces appareils peuvent se diviser

⁽¹⁾ L'étude des radiations calorifiques paraît au premier abord plus facile que celle des radiations lumineuses; mais, pour rendre les mesures précises, il faut faire pénétrer dans les appareils un flux de chaleur considérable, employer par conséquent des *cristaux de grandes dimensions*, généralement *peu homogènes dans toute leur étendue*. Cet inconvénient très grave m'a fait renoncer à l'étude des radiations calorifiques.

⁽²⁾ J'appelle corps *colorés chimiquement* les corps tels que le sulfate de cuivre, le ferricyanure de potassium, dans lesquels la coloration est due à la constitution chimique et non à des traces d'impuretés, comme c'est généralement le cas pour les cristaux naturels.

en deux catégories bien distinctes, suivant la méthode employée :

1° Les spectrophotomètres à plages contiguës, qu'on amène à l'égalité;

2° Les spectrophotomètres à disparition de franges ⁽¹⁾.

Ces derniers n'ont guère été employés pour l'étude qui nous occupe : par suite de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, l'œil aperçoit encore les franges alors qu'elles ont complètement disparu, et les mesures, pour peu qu'elles soient nombreuses, deviennent rapidement très fatigantes. D'ailleurs, les appareils, en raison de leur complication, absorbent une grande quantité de lumière : il faut les éclairer avec une source intense, généralement difficile à maintenir constante.

Les spectrophotomètres le plus souvent employés pour l'étude de l'absorption sont ceux de MM. Crova ⁽²⁾, Glan ⁽³⁾, Vierordt ⁽⁴⁾. Dans ces appareils, la fente du spectroscopie est composée de deux parties donnant deux spectres parallèles, placés l'un au-dessus de l'autre et dans lesquels les couleurs de même réfrangibilité sont contiguës. L'intensité du spectre inférieur peut être modifiée dans un rapport déterminé et connu (au moyen d'appareils de polarisation, ou tout simplement en donnant à la

(¹) Voir : VIOLLE, *Annales de Chimie et de Physique*, 6^e série, t. III; 1884. — TRANNIN, Thèse de doctorat; Lille, 1877. — JAMIN, *Cosmos*, t. X, p. 232; 1857. — WILD, *Pogg. Ann.*, t. XCIV, p. 235; t. XCVIII, p. 568 et t. CXXXV, p. 99; 1858-1868, et *Wied. Annalen*, t. XX, p. 452; 1883.

(²) CROVA, *Annales de Chimie et de Physique*, 5^e série, t. XIX, p. 472, et *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCII, p. 36, et t. XC, p. 252.

(³) GLAN, *Wied. Ann.*, t. I, p. 351; 1877.

(⁴) VIERORDT, *Die Anwendung des Spectralapparates zur Messung des farbigen Lichtes*; Tüb., 1871. — *Die Anw., etc., zur Photometrie der Absorptionsspectren*; Tüb., 1873.

Voir aussi : PULFRICH, *Wiedmann Annalen*, neue Folge, Bd. XIV; 1882.

fente inférieure une largeur variable). Pour faire une mesure, on amène d'abord les deux spectres à l'égalité dans la région qu'on veut étudier, on place ensuite le cristal contre la fente supérieure et, en atténuant dans un rapport c l'intensité du spectre inférieur, on reproduit l'égalité d'intensité dans la région choisie : le coefficient de transmission de la lame pour cette région du spectre est c .

Les appareils précédents ne se prêtent guère à l'étude des cristaux; ceux-ci doivent être étudiés sous différentes inclinaisons et plongés la plupart du temps dans un liquide pour éviter les pertes de lumière par réflexion ou leur altération à l'air, et il n'y a guère de place devant la fente supérieure pour une cuve et une pince à cristal, munie de mouvements de réglage et de mouvements de rotation.

Le spectrophotomètre de M. Gouy ⁽¹⁾, dans lequel les deux plages contiguës proviennent de deux faisceaux de rayons parallèles sortant de deux collimateurs indépendants, est, au contraire, très commode ⁽²⁾. On place le cristal devant la fente de l'un des collimateurs : l'intensité du faisceau qui traverse l'autre collimateur peut être atténuée dans un rapport déterminé; M. Gouy emploie, à cet effet, deux nicols placés l'un en avant, l'autre en arrière de la fente du collimateur : le premier est mobile au centre d'un cercle divisé. Le déplacement latéral du faisceau lumineux par le nicol mobile est corrigé au moyen d'une lentille excentrée par rapport à l'axe de rotation. Malheureusement, cette correction n'est jamais complète; on n'est jamais sûr d'appliquer la loi de Malus en toute rigueur. Dans le dispositif que j'ai employé, j'ai préféré laisser *les deux nicols immobiles et faire tourner, au moyen d'un*

⁽¹⁾ GOUY, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 5^e série, t. XVIII; 1879.

⁽²⁾ L'appareil de M. Gouy a également le très grand avantage de donner des plages monochromatiques très étendues.

quartz d'épaisseur variable, le plan de polarisation de la lumière qui sort du premier nicol ⁽¹⁾.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL EMPLOYÉ.

Une lampe L (*fig. 1*) éclaire la fente f_1 d'un collimateur C_1 . Les rayons parallèles sortant du collimateur traversent deux nicols N, N' dont les sections principales sont à angle droit; le deuxième de ces nicols est mobile au centre d'un cercle divisé. Entre les deux nicols et normalement aux rayons se trouve un compensateur ⁽²⁾ Soleil C en quartz droit (constitué par deux prismes de quartz de même angle, placés comme l'indique la figure; l'axe du quartz est parallèle aux rayons lumineux, l'un des prismes est mobile devant l'autre au moyen d'une vis micrométrique munie d'un tambour divisé).

Le compensateur permet de faire tourner d'un angle connu le plan de polarisation d'une couleur déterminée :

⁽¹⁾ J'ai essayé deux autres procédés d'atténuation de la lumière, d'abord les verres colorés : je faisais déplacer devant la fente d'un des collimateurs un prisme de verre coloré (par exemple de verre de cobalt) compensé, pour éviter les déviations, par un prisme de même angle en verre blanc; ce procédé très simple est à l'abri de toute critique, si la matière qui constitue le prisme est bien homogène, condition malheureusement très difficile à réaliser. En regardant au microscope des lames minces, taillées dans différentes directions, dans des verres colorés en apparence très homogènes, j'ai vu des stratifications de la matière colorante très probablement dues aux inégalités de température pendant le refroidissement du verre après sa fusion.

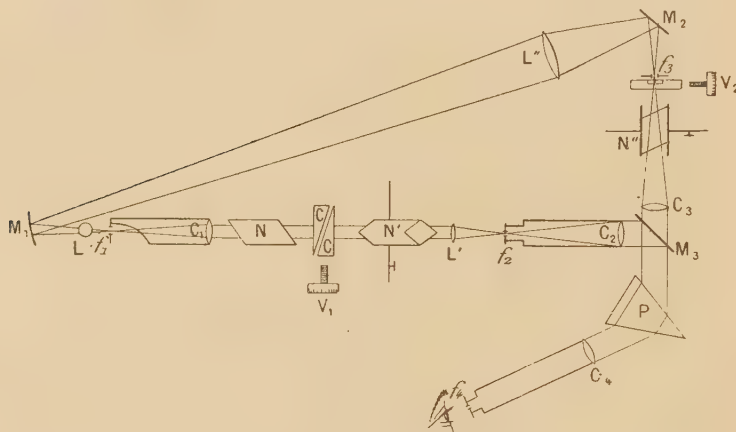
J'ai essayé aussi les disques tournants à secteurs évidés, j'ai vérifié qu'un faisceau lumineux ou calorifique est atténué dans le rapport $\frac{1}{K}$, lorsqu'on interpose sur son trajet un disque tournant, dans lequel on a découpé un secteur d'angle $\frac{2\pi}{K}$. J'ai abandonné cette méthode à cause des trépidations communiquées aux appareils voisins par la rotation des disques.

Le procédé de l'*œil de chat* est évidemment inapplicable à l'appareil de M. Gouy.

⁽²⁾ Ce compensateur a été taillé par M. J. Werlein.

lorsque l'angle de rotation est $\frac{\pi}{2}$, l'intensité de la couleur correspondant à la sortie du nicol N' est maxima; soit I cette intensité. L'angle de rotation du plan de polarisation devenant α , l'intensité de la couleur correspondant à la sortie du nicol N' devient $I \sin^2 \alpha$.

Fig. 1.



Après le nicol N' se trouve une lentille L' qui concentre les rayons lumineux sur la fente f_2 d'un collimateur C_2 .

Un autre faisceau de rayons émanés de la lampe L se réfléchit sur un miroir concave M_1 , traverse une lentille convexe L'' , tombe sur un miroir M_2 et forme sur la fente f_3 d'un collimateur C_3 une image réelle de la flamme de la lampe L .

Le cristal absorbant est placé entre f_3 et C_3 dans une cuve renfermant un liquide d'indice convenable. Cette cuve est posée sur le chariot d'une vis micrométrique. Derrière le cristal se trouve en N'' un nicol mobile au centre d'un cercle divisé. En tournant la vis micrométrique V_2 , on amène le cristal en regard de la fente f_3 .

Devant l'objectif du collimateur C_3 se trouve une glace

M_3 argentée sur la moitié de l'une de ses faces; la ligne l qui limite l'argenteure est horizontale. Sur cette glace se réfléchissent les rayons sortis du collimateur C_2 dont l'axe rencontre la ligne l au même point que l'axe de C_3 . La position du miroir M_3 est telle qu'un rayon qui suivrait l'axe de C_2 se réfléchirait sur le miroir suivant le prolongement de l'axe de C_3 . Les rayons parallèles sortant du collimateur C_3 , et ceux qui proviennent du collimateur C_2 et se sont réfléchis sur le miroir M_3 , traversent un prisme de flint P et tombent sur une lentille C_4 , munie dans son plan focal d'une fente f_4 . D'après ce que nous venons de dire, lorsque les fentes f_2, f_3 sont éclairées, on a dans le plan focal de la lentille C_4 deux spectres en coïncidence : l'un provient du collimateur C_2 , l'autre du collimateur C_3 . Ces deux spectres viennent se peindre dans le plan focal de la lunette C_4 sur un écran percé d'une fente f_4 parallèle aux arêtes du prisme P et aux fentes f_2, f_3 des deux collimateurs.

La lunette C_4 n'a pas d'oculaire, on met l'œil derrière la fente f_4 et, par une accommodation convenable, on voit à travers l'objectif C_4 deux demi-cercles lumineux de même couleur : le demi-cercle supérieur est la moitié supérieure de l'objectif de C_2 réfléchi par l'argenteure de la glace M_3 ; le demi-cercle inférieur est la superposition de la moitié inférieure de l'objectif de C_3 vue directement et de la moitié inférieure de C_2 réfléchi sur le verre de la glace M_3 .

On peut amener les deux demi-cercles au même éclat en modifiant, au moyen du compensateur, l'intensité du faisceau qui tombe dans le collimateur C_2 . Lorsque l'égalité des deux plages est obtenue, la ligne de démarcation disparaît *complètement*.

La fente f_4 a un demi-millimètre de hauteur et au plus un quart de millimètre de largeur; par suite, tous les rayons sortant de la lunette C_4 pénètrent dans l'œil, et

l'éclat des deux plages contiguës ne dépend pas de la position de la tête de l'observateur. Ce dispositif a un très grand avantage : il permet d'étudier des cristaux de très petites dimensions ; le cristal est placé devant la fente f_3 , à une très petite distance de cette fente, et la région du cristal utilisée est l'image de la fente f_4 donnée par les lentilles C_4 et C_3 ; cette image a pour superficie une fraction de millimètre carré ⁽¹⁾.

MARCHE A SUIVRE POUR DÉTERMINER UN COEFFICIENT
D'ABSORPTION.

Si l'on veut déterminer le coefficient d'absorption d'un cristal, pour la lumière jaune du sodium par exemple, on fixe la lunette C_4 de façon que la raie jaune du sodium se forme exactement sur la fente f_4 .

On place devant la fente f_3 la partie de la cuve qui ne contient pas le cristal et, en tournant la vis V_1 qui fait varier l'épaisseur du compensateur, on amène à la même intensité les deux demi-cercles jaunes vus à travers la fente f_4 .

Soit α la rotation imprimée aux vibrations jaunes par le compensateur dans sa position actuelle. Soient c et C les coefficients de réflexion du verre et de l'argent pour un angle d'incidence moitié de l'angle des axes de C_2 et de C_3 . L'intensité de la plage lumineuse supérieure est $CI \sin^2 \alpha$, I désignant l'intensité maxima de la lumière qui sort du collimateur C_2 . Soit I' l'intensité de la lumière qui sort du collimateur C_3 , l'intensité de la plage inférieure est $I' + cI \sin^2 \alpha$ et l'on a

$$CI \sin^2 \alpha = I' + cI \sin^2 \alpha.$$

⁽¹⁾ Les cristaux ne sont généralement réellement homogènes que dans une très faible étendue ; il est donc indispensable de n'étudier que des régions très limitées.

En tournant la vis V_2 , on amène la région intéressante du cristal devant la fente f_3 ; pour réaliser l'égalité des deux demi-cercles lumineux, il faut donner au compensateur C une nouvelle épaisseur, à laquelle correspond un nouvel angle α' de rotation des vibrations jaunes. Si k désigne le coefficient de transmission de la matière absorbante pour les rayons jaunes, on a la deuxième égalité

$$CI \sin^2 \alpha' = kI' + cI \sin^2 \alpha';$$

d'où

$$k = \frac{\sin^2 \alpha'}{\sin^2 \alpha},$$

en admettant que les intensités I et I' sont restées constantes ou, du moins, qu'elles ont varié dans le même rapport.

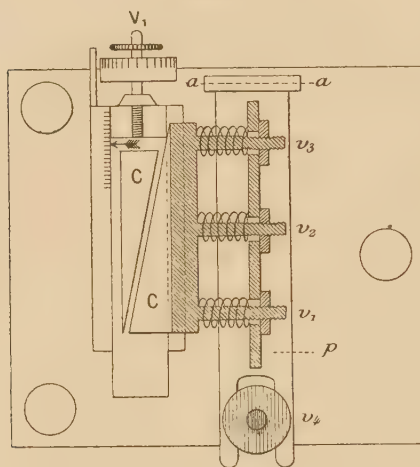
J'ai employé comme source lumineuse une lampe à pétrole ordinaire à *verre cylindrique*, afin d'éclairer uniformément les objectifs des collimateurs et d'avoir des plages uniformes. On obtient très facilement une flamme bien régulière et bien constante en donnant au verre cylindrique une hauteur égale à cinq ou six fois son diamètre.

RÉGLAGE ET GRADUATION DU COMPENSATEUR.

Le compensateur se compose de deux prismes en quartz (voir *fig. 2*) : l'un d'eux est fixé sur le chariot d'une vis micrométrique V_1 , munie d'un tambour divisé; l'autre est relié, par l'intermédiaire de trois vis de réglage ν_1, ν_2, ν_3 , à une pièce métallique p mobile autour d'une charnière aa perpendiculaire aux grandes faces des prismes. Ce mouvement de rotation s'effectue en tournant l'écrou ν_4 ; un ressort antagoniste appuie constamment l'extrémité de la pièce métallique p contre l'écrou ν_4 . La vis ν_4 , la charnière a et le chariot micrométrique sont fixés sur un plan très lourd supporté par trois vis calantes.

On amène d'abord au parallélisme les deux faces opposées des deux prismes en agissant sur les vis v_1 , v_2 , v_3 ,

Fig. 2.



puis on réalise le parallélisme des faces en regard par une simple rotation du second prisme autour de l'axe a .

GRADUATION (voir *fig.* 1 et 3).

On enlève le compensateur, la lentille L' est remplacée par un prisme à réflexion totale T , qui renvoie les rayons sortis du nicol N' dans un viseur L .

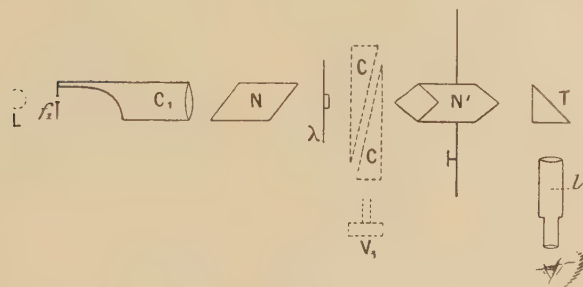
La fente f_1 est éclairée avec une lumière très vive, et l'on tourne le nicol N' jusqu'à l'extinction complète.

La position du nicol N' correspondant à l'extinction est ainsi déterminée à une minute près. On place tout près du nicol N la lame demi-circulaire demi-onde du saccharimètre Laurent. La fente f_1 est éclairée avec la lumière jaune du sodium et, en visant la lame demi-onde à travers la lunette l , on voit deux plages d'intensités différentes. En tournant le nicol N' , on les amène à l'égalité et on lit

la position n du zéro du vernier de l'alidade entraînée par le nicol N' .

Le compensateur qui vient d'être réglé est placé normalement aux rayons sortis du collimateur C_1 ; on produit l'égalité des deux plages (de la lame demi-onde) pour

Fig. 3.



diverses épaisseurs du compensateur; les positions correspondantes de l'alidade du nicol N' sur son cercle divisé étant $n_1, n_2, n_3, \dots$, les rotations correspondantes sont $n_1 - n, n_2 - n, n_3 - n, \dots$.

La graduation terminée, on enlève la lame demi-onde, et l'on ramène le nicol N' dans la position qui correspond à l'extinction. Voici un exemple de graduation du compensateur :

GRADUATION DU COMPENSATEUR.

Lumière jaune du sodium. — Température : 18° .

		Lectures faites sur le cercle C' .	
		$^{\circ}$	$'$
Pas de compensateur.....	n	{	+ 136 58
			- 43 2

Compensateur.			
Divisions du tambour de la vis (1) mi- crométrique.	Positions de l'index du chariot.		
30	6,0.....	n_1	$\left\{ \begin{array}{l} + 118\ 47' \\ - 61\ 13 \end{array} \right.$
30	10,0.....	n_2	$\left\{ \begin{array}{l} + 109\ 40 \\ - 70\ 20 \end{array} \right.$
30	15,0.....	n_3	$\left\{ \begin{array}{l} + 98\ 9 \\ - 81\ 51 \end{array} \right.$
30	20,0.....	n_4	$\left\{ \begin{array}{l} + 86\ 28 \\ - 93\ 32 \end{array} \right.$
30	25,0.....	n_5	$\left\{ \begin{array}{l} + 74\ 55 \\ - 105\ 5 \end{array} \right.$

Tableau résumant la graduation.

Lumière jaune du sodium.	Extinction des nicols...	$\left\{ \begin{array}{l} - 30^{\circ} 57' \\ + 149\ 3 \end{array} \right.$
-----------------------------	-----------------------------	---

Compensateur		Variation de la rotation correspondant à un tour complet de la vis micrométrique.	
T. Divisions du tambour de la vis micro- métrique V.	I. Positions de l'index du chariot.	Rotations correspondantes $n_k - n.$	
30	6	18 11	$\left\{ \begin{array}{l} 2\ 17' \\ 3\ 18 \end{array} \right.$ entre 6 et 10
30	10	27 18	$\left\{ \begin{array}{l} 2\ 20 \\ 2\ 19 \end{array} \right.$ 10 et 15
30	15	38 49	$\left\{ \begin{array}{l} 2\ 20 \\ 2\ 19 \end{array} \right.$ 15 et 20
30	20	50 30	$\left\{ \begin{array}{l} 2\ 20 \\ 2\ 19 \end{array} \right.$ 20 et 25
30	25	62 3	$\left\{ \begin{array}{l} 2\ 20 \\ 2\ 19 \end{array} \right.$ 25 et 30

La dispersion de la polarisation rotatoire du quartz

(1) Le tambour est divisé en cinquante parties : lorsque l'index du chariot est en regard d'une division de la règle, l'index du tambour de la vis micrométrique est en regard de la division 30 de ce tambour.

étant bien connue, nous pourrions déduire du tableau précédent la graduation du compensateur pour n'importe quelle longueur d'onde. Nous aurons, par exemple, pour la raie rouge du lithium le Tableau suivant :

Graduation du compensateur pour la raie rouge du lithium.

Compensateur		Rotations correspondantes $n_k - n.$	Variation de la rotation correspondant à un tour complet de la vis micrométrique.	
T. Divisions du tambour de la vis micro- métrique.	I. Positions de l'index du chariot.			
30	6	101 38 ⁰ ' }	0	entre
30	10	108 31	1 43	6 et 10
30	15	117 14	1 45	10 et 15
30	20	126 4	1 46	15 et 20
30	25	134 48	1 45	20 et 25

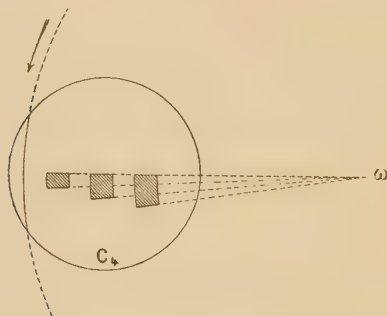
Graduation du compensateur pour la raie verte du thallium.

Compensateur		Rotations correspondantes $n_k - n.$	Variation de la rotation correspondant à un tour complet de la vis micrométrique.	
T. Divisions du tambour de la vis micro- métrique.	I. Positions de l'index du chariot.			
30	6	57 54 ⁰ ' }	0	entre
30	10	46 45	2 47	6 et 10
30	15	32 40	2 49	10 et 15
30	20	18 23	2 51	15 et 20
30	25	4 16	2 49	20 et 25

DÉTERMINATION DE LA SENSIBILITÉ DE L'APPAREIL (voir fig. 4).

La précision de l'appareil photométrique qui vient d'être décrit est limitée seulement par la sensibilité de l'œil. Pour déterminer cette sensibilité et rechercher les meilleures conditions d'expérience, on peut employer

Fig. 4.



la méthode suivante : sur un disque de verre mobile autour d'un axe horizontal ω normal à son plan et à des distances croissantes du centre, on a collé des petits morceaux de papier noir limités par deux circonférences concentriques et deux rayons faisant entre eux des angles

$$\frac{2\pi}{50}, \quad \frac{2\pi}{75}, \quad \frac{2\pi}{100}, \quad \frac{2\pi}{125}, \quad \frac{2\pi}{150}, \quad \frac{2\pi}{175}, \quad \frac{2\pi}{200}.$$

On place ce disque devant la lentille C_4 , de façon que les morceaux de papier se détachent en noir sur la plage supérieure provenant du collimateur C_2 ; on fait tourner le disque d'un mouvement de rotation rapide, et il suffit de déterminer quel est le morceau de papier d'angle maximum qui ne donne, au moment de la rotation, aucune ombre sensible sur la plage éclairée.

Ce procédé se prête merveilleusement à l'étude de la

sensibilité de l'œil pour les différentes radiations et de la variation de cette sensibilité avec l'intensité de la lumière. J'ai observé que l'œil reposé dans l'obscurité a sa sensibilité maxima pour les radiations voisines de la raie D. L'œil peut apprécier, dans cette région du spectre et dans les régions voisines, une différence d'intensité égale à $\frac{1}{150}$ environ.

Pour faire de bonnes mesures photométriques, l'opérateur doit se trouver dans l'obscurité la plus complète (toutes les sources de lumière doivent être cachées par des écrans); il ne doit pas fixer longtemps les plages lumineuses qu'il amène à l'égalité : dès que celle-ci lui paraît réalisée, il doit fermer l'œil pendant quelques secondes, puis l'ouvrir brusquement et, dans ces conditions, les différences d'intensité les plus faibles sont appréciables ⁽¹⁾.

Le dispositif que je viens de décrire m'a permis de faire quelques observations, qui peuvent être utiles en photométrie.

Les couleurs les plus réfrangibles fatiguent l'œil beaucoup moins que les radiations de longueur d'onde plus considérable.

Un œil fatigué par des mesures dans le rouge, et n'y distinguant plus qu'une différence d'intensité supérieure au vingtième, est encore très sensible pour les radiations vertes; il y distingue une différence d'intensité égale à $\frac{1}{75}$.

Lorsqu'on étudie la sensibilité de l'œil pour des intensités croissantes à partir de zéro, on constate que la sensibilité de l'œil augmente d'abord, atteint un maximum, puis décroît; ce maximum a lieu pour des in-

(1) Voir LAGARDE, *Annales de Chimie et de Physique*, 6^e série, t. IV, p. 1885.

tensités d'autant plus considérables que l'œil est plus fatigué.

EXEMPLE D'UNE DÉTERMINATION DE COEFFICIENT D'ABSORPTION.

Pour donner une idée de l'approximation des mesures, je transcris la détermination d'un coefficient de transmission K , faite avec des intensités diverses.

Lumière jaune du sodium.

Le corps étudié est une tourmaline parallèle à l'axe.

Nos des expé- riences.	α .			α' .			Valeurs de $\log \frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha} = \frac{\log K}{2}$.
	Compensateur		$\alpha =$	Compensateur		$\alpha' =$	
	Tam- bour.	Index du chariot.		Tam- bour.	Index du chariot.		
I...	17	16,7	$42^{\circ} 41'$	12	7,6	$21^{\circ} 57'$	— 0,2585
II...	23	21,9	54 48	17	9,7	26 42	— 0,2597
III..	10	22,8	56 32	31	10,0	27 21	— 0,2590
IV..	11	24,6	61 8	15	10,7	28 55	— 0,2579

Les divers nombres trouvés pour $\frac{1}{2} \log k$ concordent à plus du $\frac{1}{100}$. D'ailleurs l'intensité de la lumière employée a augmenté graduellement de l'expérience I à l'expérience IV, et les nombres trouvés ne paraissent suivre aucune loi régulière, ce qui montre que la méthode n'est pas entachée d'une erreur systématique.

Les nombres du Tableau précédent résultent de moyennes : pour donner une idée de la sensibilité de la méthode, je copie les nombres qui ont fourni ces moyennes.

La matière absorbante est placée
devant la fente f_3 .

On place devant la fente f_3
une portion de la cuve qui
ne contient pas la matière
absorbante.

I.

Compensateur.		Compensateur.	
Index. Tambour.		Index. Tambour.	
16,7	15	7,6	10
16,7	18	7,6	10
} 1 ^{re} expérience.		7,7	15
		} 2 ^e expérience.	
Compensateur.			
Index. Tambour.			
16,7	18		
16,7	17		
} 3 ^e expérience.			

II.

Compensateur.		Compensateur.	
Index. Tambour.		Index. Tambour.	
21,8	20	9,7	15
21,9	24	9,7	18
} 1 ^{re} expérience.		9,7	18
		} 2 ^e expérience.	
Compensateur.			
Index. Tambour.			
21,9	23		
21,8	22		
} 3 ^e expérience.			

Comme on le voit, les expériences sont alternées; on amène les plages à l'égalité :

- 1° Lorsque la matière absorbante est devant la fente f_3 ;
- 2° En plaçant devant la fente f_3 une portion de la cuve vide ;
- 3° En remettant la matière absorbante devant la fente f_3 .

On croise les expériences afin de vérifier que la lampe n'a pas varié d'intensité pendant la durée des mesures.

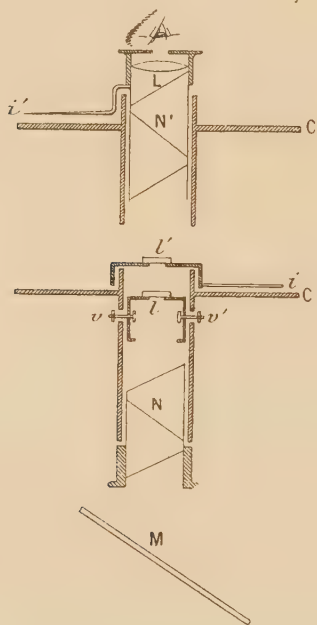
Les nombres précédents montrent que les diverses déterminations d'égalité d'intensité concordent généralement à 5 divisions près du tambour de la vis micrométrique du compensateur. Or une rotation de 5 divisions

de ce tambour correspond à une rotation du plan de polarisation de $0^{\circ} 14'$; les angles α et α' sont donc déterminés environ à $14'$ près, pour les radiations jaunes.

EXPÉRIENCES DE CONTROLE.

1° *Étude du compensateur.* — Il est indispensable de vérifier que le compensateur ne polarise pas elliptiquement la lumière sortie du premier nicol N. On fait pour cela l'expérience suivante : des rayons parallèles, monochromatiques et polarisés rectilignement par un nicol traversent

Fig. 5.



normalement le compensateur Soleil et tombent sur un compensateur de Babinet suivi d'un nicol analyseur; on constate que la frange noire, correspondant au rétablissement de la vibration rectiligne, reste bien immobile

lorsqu'on fait varier l'épaisseur du compensateur Soleil. Comme l'appareil permet d'apprécier un déplacement de la frange noire correspondant à $\frac{1}{200}$ de longueur d'onde, on peut conclure de cette expérience que la différence de phase des deux composantes de la vibration elliptique qui sort du composateur est certainement inférieure à $\frac{1}{200}$ de longueur d'onde.

2° *Photomètre à lame demi-onde.* — On peut contrôler les résultats fournis par le spectrophotomètre à compensateur par des mesures faites d'une façon tout à fait différente. Un appareil très simple permet de mesurer pour la lumière jaune du sodium la différence des coefficients d'absorption des deux vibrations qui traversent une lame cristalline en conservant leurs directions. Il se compose d'un nicol N (voir *fig.* 5), au-dessus duquel on place la lame demi-onde demi-circulaire du saccharimètre Laurent; des boutons ν , ν' permettent de faire tourner cette lame et de l'orienter convenablement. Au-dessus de la lame demi-onde, se trouve une bonnette munie d'un index i mobile sur un cercle divisé C; cette bonnette porte la lame cristalline ℓ . On regarde la lame demi-onde avec une loupe L; entre cette loupe et la lame cristalline se trouve l'analyseur N' mobile au centre d'un cercle divisé et entraînant dans son mouvement un index i' .

Réglage. — L'appareil est éclairé par la lumière jaune du sodium. On commence par enlever la lame demi-onde ℓ et la lame cristalline ℓ' , on amène l'index i' de l'analyseur au zéro, et l'on met le polarisateur à l'extinction avec l'analyseur. La lame cristalline est placée au centre de son cercle divisé, ses sections principales sont amenées en coïncidence avec celles des nicols. On note la position p de l'index i . On tourne l'analyseur de 90° et on enlève la bonnette qui porte la lame cristalline. Cela fait, on introduit dans l'appareil la lame demi-onde et on l'oriente de façon que sa section principale soit à 45° de la section

principale du polariseur (la lumière jaune qui sort de la lame demi-onde est alors éteinte par l'analyseur). On fixe la lame demi-onde dans cette position au moyen des vis ν et ν' . L'appareil est réglé.

Pour faire une mesure, on regarde la lame demi-onde à travers la loupe L et en tournant l'analyseur on amène les plages à l'égalité; l'index i' de l'analyseur se trouve alors à la division α du cercle C' .

On remet le cristal, l'index i étant dans la position p (une des sections principales de la lame cristalline coïncide donc avec celle du nicol polariseur). L'égalité des deux plages jaunes n'a pas lieu; on la rétablit en tournant l'analyseur : l'index i' se trouve alors à la division α' .

Soient I et I' les intensités des deux moitiés de la lame demi-onde, avant l'interposition du cristal, on a

$$I \cos^2 \alpha = I' \sin^2 \alpha'.$$

Soit z l'épaisseur du cristal, m_1 et m_2 ses coefficients d'absorption pour les vibrations situées dans les sections principales, on a

$$I e^{-m_1 z} \cos^2 \alpha' = I' e^{-m_2 z} \sin^2 \alpha',$$

d'où

$$e^{z(m_2 - m_1)} = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha}.$$

Exemple d'une expérience de contrôle :

Cristal de ferricyanure de potassium, taillé parallèlement au plan de symétrie.

Le spectrophotomètre à lame demi-onde donne

$$\alpha = 45^\circ, \quad \alpha' = 52^\circ 30';$$

le spectrophotomètre à compensateur donne

	Compensateur		
	Index.	Tambour.	
1 ^{re} vibration	18,5	25	} d'où $\frac{\log k_1}{2} = \log \frac{\sin 36^\circ 6'}{\sin 28^\circ 26'}$,
principale	14,8	18	

Compensateur			
Index.	Tambour.		
2 ^e vibration	9,5	6	d'où $\frac{\log k_2}{2} = \log \frac{\sin 47^{\circ} 35'}{\sin 26^{\circ} 12'}$;
principale	10,5	6	

on en déduit

$$e^{z(m_2-m_1)} = \tan^2 52^{\circ} 15'.$$

Les valeurs de $\alpha' = 52^{\circ} 30'$ (premier appareil) et $52^{\circ} 15'$ (deuxième appareil) sont très suffisamment concordantes.

3^o Vérification de l'appareil au moyen d'une dissolution colorée étudiée sous trois épaisseurs différentes. On mesure, avec le spectrophotomètre à compensateur, l'absorption d'une même dissolution de sulfate de cobalt, sous trois épaisseurs différentes :

$$z_1 = 10^{\text{mm}}, 0, \quad z_2 = 25^{\text{mm}}, 4, \quad z_3 = 29^{\text{mm}}, 7;$$

on trouve, si l'on désigne par Iz et $I'z$ les intensités incidente et émergente lorsque l'épaisseur traversée est z .

$$\frac{1}{2} \log \frac{I'z_1}{Iz_1} = -0,14593,$$

$$\frac{1}{2} \log \frac{I'z_2}{Iz_2} = -0,27336,$$

$$\frac{1}{2} \log \frac{I'z_3}{Iz_3} = -0,308125.$$

Si en outre α désigne le coefficient d'absorption de la dissolution pour la couleur considérée (lumière jaune du sodium) et si k représente un facteur dépendant des diverses réflexions, on a

$$\log \frac{I'z_1}{Iz_1} = \log k - \alpha \log e \times 10,$$

$$\log \frac{I'z_2}{Iz_2} = \log k - \alpha \log e \times 25,4,$$

$$\log \frac{I'z_3}{Iz_3} = \log k - \alpha \log e \times 29,7.$$

Ces trois équations donnent deux valeurs pour $\alpha \log e$:

$$0,1049 \quad \text{et} \quad 0,1069$$

qui diffèrent de $\frac{1}{50}$; cette différence est parfaitement compatible avec les erreurs expérimentales accidentelles, puisque les quantités $\log \frac{I'z_1}{Iz_1}$, $\log \frac{I'z_2}{Iz_2}$ et $\log \frac{I'z_3}{Iz_3}$ peuvent être entachées d'une erreur voisine de $\frac{1}{400}$.

Nous pouvons donc conclure des trois séries d'expériences de contrôle que nous venons d'indiquer que l'appareil photométrique employé ne comporte pas d'erreur systématique ; la précision des mesures est limitée seulement par la sensibilité de l'œil ; elle le sera aussi, dans les expériences que nous allons décrire, par les imperfections des cristaux.

CHAPITRE II.

ÉTUDE DES CRISTAUX ABSORBANTS UNIAXES ET BIAxes, TAILLÉS DANS DIFFÉRENTES DIRECTIONS ET TRAVERSÉS PAR DE LA LUMIÈRE NORMALE POLARISÉE RECTILIGNEMENT.

L'appareil employé est le spectrophotomètre à compensateur. Le cristal ⁽¹⁾ l est fixé sur une bonnette b munie d'un index i , mobile sur un cercle divisé ; en avant du

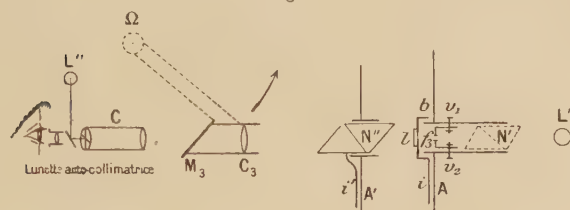
(¹) Dès que le cristal est un peu épais, son interposition entre la fente f_3 et la lentille C_3 modifie assez la distance focale de celle-ci pour faire disparaître l'uniformité de coloration de la plage inférieure du spectrophotomètre.

On évite cet inconvénient en employant deux cuves fermées par des glaces parallèles et portées par des bonnettes pareilles à b ; l'une de ces cuves contient un liquide de même indice que le cristal, l'autre contient, outre ce liquide, le cristal lui-même qui est appuyé contre l'une des glaces par des ressorts plats. Les deux cuves ont même épaisseur.

Ce dispositif a l'avantage d'éviter les pertes de lumière par réflexion et de protéger le cristal contre l'action de l'air.

cristal se trouve la fente f_3 du collimateur C_3 . Cette fente peut être orientée convenablement au moyen des vis v_1 , v_2 . Un nicol N'' placé entre la fente f_3 et la lentille C_3 analyse la lumière qui sort du cristal; ce nicol est mobile au centre d'un cercle divisé A' et il entraîne dans son

Fig. 6.



mouvement un index i' . L'appareil que nous venons de décrire (comprenant le cercle divisé du nicol N'' , la fente f_3 et la bonnette b) est supporté par un pied à vis calantes V indépendant du collimateur C_3 . La fente f_3 est directement éclairée par une lampe L' à verre cylindrique.

Pour régler le cristal, on enlève le prisme dispersif P , on vise ensuite la fente f_3 avec une lentille auto-collimatrice C éclairée latéralement par une lampe L'' . Le tube qui porte l'objectif C_3 et le demi-miroir M_3 peut tourner sur la plate-forme du prisme P autour d'un axe Ω ; on écarte la lentille C_3 et on agit sur les vis calantes V jusqu'à ce que le cristal soit normal à l'axe optique de la lentille auto-collimatrice. Le tube qui porte M_3 et C_3 est ramené dans sa position primitive: le cristal est alors normal à l'axe du collimateur C_3 .

Les sections principales de la lame sont faciles à fixer: N'' est mis au zéro, la bonnette b qui supporte le cristal est enlevée; on place en N' devant la fente f_3 un nicol qu'on croise avec N'' . La bonnette supportant le cristal est replacée devant f_3 dans une position telle que l'extinction

persiste ; une des sections de la lame coïncide alors avec celle du nicol N''.

On enlève le nicol N' ainsi que la lunette auto-collimatrice, on replace le prisme P sur sa plate-forme : l'appareil est complètement réglé.

On fait tourner le nicol N'' d'un angle ω à partir du zéro du cercle A'. La lumière naturelle ⁽¹⁾ d'intensité I_0 qui tombe sur la lame peut être considérée comme résultant de la composition de deux vibrations indépendantes, chacune d'intensité $\frac{I_0}{2}$, respectivement parallèles aux sections principales de la lame. Après son passage à travers le cristal, la première vibration a une intensité $\frac{I_0}{2} \times a^2$, la deuxième une intensité $\frac{I_0}{2} \times b^2$; ces deux vibrations tombent sur le nicol N'' dont la section principale fait un angle ω avec la première d'entre elles ; dans ces conditions l'intensité de la lumière à la sortie du nicol N'' est

$$I = \frac{I_0}{2} (a^2 \cos^2 \omega + b^2 \sin^2 \omega).$$

Si les deux vibrations ne s'influencent pas mutuellement pendant leur passage à travers le cristal, a^2 et b^2 doivent être constants : c'est ce que l'expérience vérifie ⁽²⁾.

Voici quelques nombres.

⁽¹⁾ La lumière d'une lampe à pétrole à *verre cylindrique* ne présente pas de trace de polarisation, comme on peut s'en assurer au polariscopes.

⁽²⁾ Au lieu de faire tourner le nicol N'', ce qui nécessite, à chaque nouvelle rotation, un nouveau réglage du miroir M₃, on pourrait faire tourner la lame et laisser N'' immobile ; ce procédé est défectueux si la lame n'est pas très pure : il vaut mieux utiliser constamment la même partie du cristal.

*Expériences sur une tourmaline verte parallèle à l'axe.
Lumière jaune du sodium.*

1. Vibration extraordinaire : $\omega = 0^\circ$.

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
30	22	$\alpha = 55^\circ 4'$	$\left. \begin{array}{l} \log \frac{I}{I_0} = -0,39374, \\ \frac{I}{I_0} = 0,4039. \end{array} \right\}$
24	11,8	$\alpha' = 31^\circ 24'$	

2. Vibration à 30° de l'axe : $\omega = 30^\circ$.

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
35	21,2	$\alpha = 52^\circ 46'$	$\left. \begin{array}{l} \log \frac{I}{I_0} = -0,51678, \\ \frac{I}{I_0} = 0,3043. \end{array} \right\}$
10	9,8	$\alpha' = 26^\circ 3'$	

3. Vibration à 45° de l'axe : $\omega = 45^\circ$.

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
5	21,5	$\alpha = 53^\circ 41'$	$\left. \begin{array}{l} \log \frac{I}{I_0} = -0,68940, \\ \frac{I}{I_0} = 0,2045; \end{array} \right\}$
8	7,6	$\alpha' = 21^\circ 22'$	

en appliquant la formule

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}(a^2 \cos^2 \omega + b^2 \sin^2 \omega),$$

on trouve

$$\left. \begin{array}{l} \frac{a^2}{2} = 0,4039 \\ \frac{a^2 + b^2}{4} = 0,2045 \\ \frac{3a^2 + b^2}{8} = 0,3043 \end{array} \right\} \text{ d'où } \left\{ \begin{array}{l} \frac{b^2}{2} = 0,0051, \\ \frac{b^2}{2} = 0,0055. \end{array} \right.$$

Les deux valeurs trouvées pour $\frac{b^2}{2}$ (coefficient de transmission du rayon ordinaire) concordent très suffisamment puisqu'elles diffèrent de moins de 0,002.

4. Pour une vibration à 20° de l'axe ($\omega = 20^\circ$) on trouve :

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
40	11	$\alpha' = 29^\circ 51'$
0	22,4	$\alpha = 55^\circ 51'$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha' = 29^\circ 51' \\ \alpha = 55^\circ 51' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,22082,$$

d'où

$$\frac{I}{I_0} = 0,3617.$$

Si l'on calcule la valeur de $\frac{I}{I_0}$ correspondant à $\omega = 20^\circ$, en prenant

$$\frac{a^2}{2} = 0,4039, \quad \frac{b^2}{2} = 0,0050,$$

on trouve

$$\frac{I}{I_0} = 0,357,$$

valeur qui diffère de $\frac{1}{72}$ de celle qu'on a observée directement.

AUTRE EXEMPLE. — *Tourmaline claire, plongée dans le sulfure de carbone : on a pu mesurer l'absorption des deux rayons ordinaire et extraordinaire.*

Rayon ordinaire :

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
11	23,6	$\alpha = 58^\circ 17'$
48	6,3	$\alpha' = 18^\circ 30'$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 58^\circ 17' \\ \alpha' = 18^\circ 30' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,42828, \quad \frac{I}{I_0} = 0,1392.$$

Rayon extraordinaire :

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
15	21,6	$\alpha' = 41^\circ 41'$
1	16,3	$\alpha = 53^\circ 54'$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha' = 41^\circ 41' \\ \alpha = 53^\circ 54' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,08458, \quad \frac{I}{I_0} = 0,6773.$$

Vibration inclinée à 45° sur la vibration ordinaire :

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
20	14,8	$\alpha = 37^{\circ} 54'$	$\left\{ \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,19949, \quad \frac{I}{I_0} = 0,4046. \right.$
46	8,3	$\alpha' = 23^{\circ} 0'$	

On déduit des expériences précédentes le Tableau suivant :

Vibration.	$\frac{I}{I_0}$ observé.	$\frac{I}{I_0}$ calculé.
A 45° de l'axe.....	0,4046	0,408

AUTRE EXEMPLE. — *Tourmaline très brune, très absorbante : on peut considérer b^2 comme nul.*

Rayon ordinaire :

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
8	18,6	$\alpha = 46^{\circ} 35'$	$\left\{ \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,28947, \quad \frac{I}{I_0} = 0,2652. \right.$
22	7,9	$\alpha' = 21^{\circ} 54'$	

Vibration inclinée à 30° sur l'axe :

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
10	6,7	$\alpha = 47^{\circ} 8'$	$\left\{ \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,35133, \quad \frac{I}{I_0} = 0,1983; \right.$
18	18,9	$\alpha' = 19^{\circ} 3'$	

la formule

$$\frac{I}{I_0} = \frac{a^2}{2} \cos^2 30^{\circ} = \frac{3a^2}{8}$$

donne pour la vibration inclinée de 30° sur l'axe

$$\frac{I}{I_0} = 0,1989,$$

nombre identique à celui qui a été observé directement.

Les cristaux précédents sont naturels; voici une expérience relative à un cristal coloré chimiquement :

Lame de ferricyanure de potassium (monosymétrique).

Vibration dirigée suivant une section principale :

Compensateur.					
Tambour.	Index.				
35	17	$\alpha = 43^{\circ} 29'$	$\left. \begin{array}{l} \alpha' = 31^{\circ} 46' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,11631,$	$\frac{I}{I_0} = 0,5853.$	
32	12	$\alpha' = 31^{\circ} 46'$			

Vibration dirigée suivant l'autre section principale :

Compensateur.					
Tambour.	Index.				
22	10,5	$\alpha' = 29^{\circ} 1'$	$\left. \begin{array}{l} \alpha = 57^{\circ} 9' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,23853,$	$\frac{I}{I_0} = 0,3334.$	
30	23	$\alpha = 57^{\circ} 9'$			

Vibration dirigée à 30° de la première section principale :

Compensateur.					
Tambour.	Index.				
40	11,2	$\alpha' = 29^{\circ} 51'$	$\left. \begin{array}{l} \alpha = 44^{\circ} 11' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,14622,$	$\frac{I}{I_0} = 0,5100,$	
50	17,4				
Le calcul donne.....				$\frac{I}{I_0} = 0,522.$	

AUTRE MÉTHODE.

Plaçons de part et d'autre de la fente f_3 et de la lame cristalline deux nicols, orientons leurs sections principales parallèlement à l'une des sections principales de la lame, et mesurons le coefficient d'absorption de la lame dans ces conditions.

Enlevons le nicol antérieur (celui qui est à l'extérieur du collimateur C_3) et mesurons le nouveau coefficient d'absorption de la lame qui est alors éclairée par de la

lumière naturelle. Si l'existence d'une vibration ne modifie pas l'absorption d'une vibration rectangulaire, en d'autres termes, si les deux vibrations sont indépendantes, les deux coefficients d'absorption trouvés doivent être égaux : c'est ce que l'expérience vérifie.

EXEMPLES. — *Lame de ferricyanure.*

Deux nicols parallèles de part et d'autre de la lame :

Compensateur.				$\left. \begin{array}{l} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,11798 \\ \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,11734 \end{array} \right\}$
Tambour.	Index.			
14,2	38	$\alpha = 36^{\circ} 41'$		
10	30	$\alpha' = 27^{\circ} 5'$		
Un seul nicol :				
Compensateur.				
Tambour.	Index.			
17,1	35	$\alpha = 43^{\circ} 29'$		
12	32	$\alpha' = 31^{\circ} 41'$		

Nombres concordants.

Nombres
concordants.

Lame de tourmaline verte parallèle à l'axe.

Deux nicols parallèles à l'axe de la tourmaline :

Compensateur.				$\left. \begin{array}{l} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,19164 \\ \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,19040 \end{array} \right\}$
Tambour.	Index.			
11,6	20	$\alpha' = 31^{\circ} 13'$		
21,5	5	$\alpha = 53^{\circ} 41'$		
Un seul nicol :				
Compensateur.				
Tambour.	Index.			
9,9	22	$\alpha' = 26^{\circ} 43'$		
17,4	0	$\alpha = 44^{\circ} 11'$		

Nombres concordants.

Nombres
concordants.

Tourmaline brune très absorbante.

Deux nicols :

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
18,1	36	$\alpha = 45^{\circ} 38'$
7,7	17	$\alpha' = 21^{\circ} 40'$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 45^{\circ} 38' \\ \alpha' = 21^{\circ} 40' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,28696.$$

Un seul nicol :

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
18,6	8	$\alpha = 46^{\circ} 35'$
7,9	22	$\alpha' = 21^{\circ} 56'$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 46^{\circ} 35' \\ \alpha' = 21^{\circ} 56' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,28884.$$

Nous pouvons conclure des expériences précédentes que les équations de vibration de l'éther dans les milieux étudiés ⁽¹⁾ sont linéaires.

CHAPITRE III.

L'ABSORPTION D'UNE VIBRATION LUMINEUSE DE DIRECTION CONSTANTE EST REPRÉSENTÉE EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR z PAR UNE SEULE EXPONENTIELLE : e^{-mz} .

ÉTUDE D'UNE LAME CRISTALLINE, SOUS DIFFÉRENTES ÉPAISSEURS.

Il faut d'abord s'assurer de la complète homogénéité de la matière : on taille pour cela une petite plaque perpen-

(1) Je n'ai pas cité toutes les expériences qui ont été faites ; les cristaux étudiés ont été : la tourmaline, le ferricyanure de potassium, l'andalousite, l'épidote, l'axinite, le sulfate double de cobalt et de potassium.

Il serait intéressant de reprendre les mêmes expériences avec des corps encore plus absorbants, comme le permanganate de potassium solide ; je n'ai pu, jusqu'à présent, m'en procurer des plaques suffisamment pures et transparentes.

La relation $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} (a^2 \cos^2 \omega + b^2 \sin^2 \omega)$ peut fournir un contrôle précieux dans des expériences sur l'absorption des corps cristallisés.

diculaire aux grandes faces de la lame cristalline; on observe cette plaque au microscope polarisant en lumière parallèle monochromatique; puis on la place devant la fente f_3 , sur le chariot d'une vis micrométrique; l'égalité des deux plages du spectrophotomètre étant établie pour une position de la plaque doit subsister quand on tourne la vis micrométrique.

On constate que les cristaux sont rarement purs, dans toutes leurs directions; quand on regarde une tourmaline suivant la direction de l'axe, on voit presque toujours une série de zones concentriques de colorations différentes, parallèles à l'axe du cristal; ces zones disparaissent dans une lame taillée parallèlement à l'axe.

Lorsqu'on a trouvé une lame bien pure, on réduit successivement son épaisseur, en conservant toujours une des faces primitives à laquelle on rend l'autre bien parallèle; on détermine pour chaque épaisseur l'absorption correspondante d'une des vibrations principales.

EXEMPLE. — *Tourmaline verte, très pure, inclinée de 45° sur l'axe optique.*

Étude de l'absorption de la vibration extraordinaire :

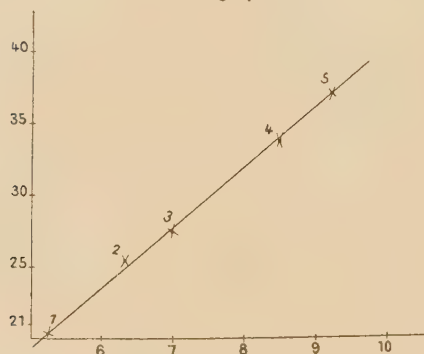
	Épaisseurs.	$\frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0}$.
	mm	
1.....	0,525	— 0,203
2.....	0,634	— 0,255
3.....	0,700	— 0,275
4.....	0,850	— 0,339
5.....	0,926	— 0,371

Le cristal est plongé dans l'air.

Si la loi exponentielle s'applique, la courbe ayant pour abscisses les épaisseurs et pour ordonnées les valeurs correspondantes de $\frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0}$ doit être une droite.

C'est ce qu'on vérifie (voir *fig. 7*).

Fig. 7.



La différence maxima entre le calcul et l'expérience correspond au point (2); la différence entre $\frac{I}{2} \log \frac{I}{I_0}$ calculé et $\frac{I}{2} \log \frac{I}{I_0}$ observé est pour ce point environ $\frac{1}{50}$.

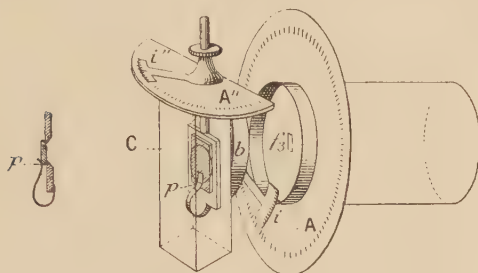
Nous pouvons donc conclure de l'expérience précédente qu'une seule exponentielle suffit pour représenter l'absorption d'une vibration inclinée d'une façon quelconque par rapport aux axes cristallographiques. Nous trouverons dans les expériences qui suivent de nouveaux contrôles de cette loi.

VARIATION DU COEFFICIENT D'ABSORPTION m AVEC LA DIRECTION DE LA VIBRATION.

CRISTAUX UNIAXES. — Les faces du cristal étudié sont parallèles à l'axe optique; on fait varier la direction de la vibration à l'intérieur du cristal en plaçant celui-ci dans une petite pince p (voir *fig. 8*) qui le maintient et permet de le faire tourner d'un angle connu autour d'une droite située dans le plan des faces et perpendiculaire à l'axe optique.

Un index i'' mobile sur un demi-cercle divisé A'' suit les mouvements du cristal : lorsque celui-ci est perpendiculaire à l'axe du collimateur C_3 , l'index i'' est à la division o du cercle A'' . Le cristal plonge dans un liquide de même

Fig. 8.



indice que lui, contenu dans une cuve C qui est fixée sur la bonnette b . Une deuxième bonnette, pareille à b , supporte une seconde cuve de même épaisseur que C et contenant le même liquide.

On amène les deux plages du spectrophotomètre à l'égalité, en mettant devant la fente f_3 :

- 1° La cuve vide;
- 2° La cuve contenant le cristal.

La fente f_3 est éclairée directement par une lampe à pétrole à verre cylindrique ; un nicol placé après la cuve C (du côté de la lentille C_3) polarise la lumière parallèlement à l'axe de rotation du cristal.

On répète les mesures, pour différentes positions de l'index i'' à droite et à gauche du zéro du cercle A'' .

On s'assure de l'homogénéité du cristal en étudiant d'abord l'absorption de la vibration parallèle à l'axe de rotation ; on doit avoir

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\frac{\omega}{\cos \omega} \times m},$$

ω désignant l'inclinaison du cristal sur l'axe du collima-

teur C_3 , m le coefficient d'absorption de la vibration parallèle à l'axe de rotation, I_0 l'intensité incidente, I l'intensité émergente.

Pour décider si la formule (1) [p. 3], qui résulte de la théorie de l'ellipsoïde d'absorption, peut représenter la variation du coefficient d'absorption de la vibration extraordinaire, on fait tourner une tourmaline parallèle autour d'une perpendiculaire à son axe cristallographique, la section du nicol analyseur étant perpendiculaire à l'axe de rotation. Dans ces conditions, soit m_0 le coefficient d'absorption de la vibration extraordinaire quand la lame est normale à l'axe du collimateur C_3 , soit m_{90} le coefficient d'absorption de la vibration ordinaire et m_ω celui d'une vibration extraordinaire inclinée de l'angle ω sur l'axe du collimateur C_3 ; on doit avoir

$$m_\omega = m_0 \cos^2 \omega + m_{90} \sin^2 \omega;$$

c'est ce que l'expérience vérifie.

1° *Expérience sur une tourmaline brune très absorbante plongée dans le sulfure de carbone (épaisseur 0^{mm},463); lumière jaune du sodium.*

Vérification de l'homogénéité (l'axe de rotation coïncide avec l'axe du cristal).

Vibration extraordinaire.

Lame normale au faisceau : épaisseur 0,463.

Compensateur.

Tambour. Index.

$$\begin{array}{cc} 10 & 33 \\ 23 & 35 \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \alpha' = 26^\circ 56' \\ \alpha = 56^\circ 51' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,26680.$$

Lame inclinée de 30° sur le faisceau :

$$\text{Épaisseur} = \frac{0,463}{\cos 30^\circ} = 0,5346.$$

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
23	35	$\left. \begin{array}{l} \alpha' = 24^{\circ} 18' \\ \alpha = 56^{\circ} 51' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,30847.$
8,9	25	

Le quotient des épaisseurs est

$$\frac{5346}{4630} = 1,154.$$

Le quotient des valeurs correspondantes de $\frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0}$ est

$$\frac{30847}{26680} = 1,156.$$

Étude d'une vibration inclinée sur l'axe optique. — L'axe de rotation est perpendiculaire à l'axe optique. — La section principale du nicol analyseur est perpendiculaire à l'axe de rotation.

Calcul de m_0 (la lame est normale à l'axe du collimateur C_3):

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
18,4	0	$\left. \begin{array}{l} \alpha = 46^{\circ} 4' \\ \alpha' = 23^{\circ} 5' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,26406,$
8,3	48	

nombre concordant avec celui trouvé dans l'expérience préliminaire; d'où

$$\log m_0 = 0,42091 \quad m_0 = 2,636.$$

Calcul de $m_{10^{\circ}}$ (la lame est inclinée de 10° sur l'axe du collimateur C_3):

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
18,4	0	$\left. \begin{array}{l} \alpha = 46^{\circ} 4' \\ \alpha' = 18^{\circ} 24' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,35822.$
6,3	45	

d'où

$$\log m_{10} = 0,54509, \quad m_{10} = 3,508.$$

Calcul de m_{20} (la lame est inclinée de 20° sur l'axe du collimateur C_3 , l'absorption est trop considérable pour être mesurée directement). On amène les deux plages à l'égalité, l'index i'' étant au zéro du cercle A'' ; le compensateur donne :

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
19,1	35	d'où	$\alpha = 47^\circ 41,$

On amène i'' à la division 20° ; le compensateur indique

$$6 \quad 47, \quad \alpha' = 18^\circ 29';$$

on en déduit

$$\log m_{20} = 0,77193, \quad m_{20} = 5,915;$$

en appliquant la formule

$$m_\omega = m_0 \cos^2 \omega + m_{90} \sin^2 \omega,$$

on trouve, en se servant de m_{10} ,

$$\log m_{90} = 1,4993,$$

et, en servant de m_{20} ,

$$\log m_{90} = 1,4875.$$

Ces nombres concordent; ils donnent comme valeur du coefficient de transmission de la vibration ordinaire,

$$c_{90} = \left(\frac{I}{I_0} \right)_{90} = 0,0000005862.$$

L'absorption est complète, ce qu'on vérifie directement sur le cristal.

Les cristaux très absorbants, comme celui qu'on vient d'employer, ont l'avantage d'être très homogènes, car *leur épaisseur est faible*; ils ont un inconvénient, ils ne per-

mettent d'étudier que des vibrations faiblement inclinées sur l'axe.

On peut comparer les résultats précédents à la formule de M. H. Becquerel.

Soient a_0 l'amplitude de la vibration incidente, a l'amplitude de la vibration émergente; on doit avoir, en désignant par k_0 le coefficient d'absorption de la vibration parallèle à l'axe, par k_{90} celui de la vibration ordinaire (1) :

$$\left(\frac{a}{a_0}\right)_\omega = \cos^2 \omega e^{-z \times k_0 \omega} + \sin^2 \omega e^{-z \times k_{90}}.$$

z désigne l'épaisseur, ω a la même signification que précédemment. La première expérience (lame normale au faisceau) donne

$$\log \left(\frac{a}{a_0}\right)_0 = -0,26406;$$

la deuxième expérience donne

$$\log \left(\frac{a}{a_0}\right)_{10^\circ} = -0,35822;$$

d'où

$$\left(\frac{a}{a_0}\right)_{10^\circ} = 0,4383;$$

on devrait avoir

$$0,4383 = \cos^2 10^\circ e^{\frac{-0,463}{\cos 10^\circ} \times k_0} + \sin^2 10^\circ e^{\frac{-0,463}{\cos 10^\circ} \times k_{90}}.$$

La première expérience permet de calculer le terme

$$\cos^2 10^\circ \times e^{\frac{-0,463}{\cos 10^\circ} \times k_0};$$

il est égal à 0,523.

(1) Les coefficients d'absorption dont nous parlons ici se rapportent aux amplitudes et non aux intensités. (Voir p. 2.)

Le deuxième terme

$$\sin^2 10^\circ \times e^{\frac{-0,462}{\cos 10^\circ} \times k_0}$$

devrait être négatif, ce qui est impossible.

2° *Expériences sur une tourmaline verte, plongée dans le sulfure de carbone, déjà étudiée page 31; elle était alors plongée dans l'air.*

Lumière jaune du sodium. Épaisseur : 1^{mm}, 873.

$$\omega = 0^\circ :$$

Compensateur.

Tambour. Index.

16,3 45

11 40

$$\left. \begin{array}{l} \alpha' = 29^\circ 16' \\ \alpha' = 41^\circ 2' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0} = -0,12803;$$

d'où

$$m_0 = 0,3147.$$

$$\omega = 20^\circ :$$

Compensateur.

Tambour. Index.

22,8 22

10,7 12

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 56^\circ 23' \\ \alpha' = 28^\circ 0' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{20^\circ} = -0,24891;$$

d'où

$$m_{20} = 0,5751.$$

$$\omega = 30^\circ :$$

On mesure l'absorption en deux fois.

Compensateur.

Tambour. Index.

$\omega = 0^\circ \dots$ 19,6 9

$\omega = 30^\circ \dots$ 8,4 44

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 48^\circ 40' \\ \alpha' = 22^\circ 39' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{30^\circ} \left\{ \begin{array}{l} = -0,29-0,12803 \\ = -0,41803; \end{array} \right.$$

d'où

$$m_{30} = 0,89.$$

On a trouvé (page 27) pour coefficient de transmission

du rayon extraordinaire, lorsque la tourmaline est plongée dans l'air,

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)_0 = 0,4039,$$

et pour coefficient de transmission du rayon ordinaire, dans les mêmes conditions,

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)_{90} = 0,0050.$$

Comme le rapport des coefficients de transmission des deux vibrations principales est indépendant du milieu ambiant, on peut, avec les deux nombres précédents et la valeur de m_0 trouvée plus haut, calculer m_{90} , coefficient d'absorption de la vibration ordinaire.

On trouve

$$m_{90} = 2,659.$$

On a, par conséquent :

Observé.

$$m_{20^\circ} = 0,3147 \times \cos^2 20^\circ + 2,659 \times \sin^2 20^\circ = 0,5889 \quad m_{20^\circ} = 0,5751$$

et

$$m_{30^\circ} = 0,3147 \times \cos^2 30^\circ + 2,659 \times \sin^2 30^\circ = 0,90 \quad m_{30^\circ} = 0,89$$

L'accord est complet.

La formule de M. Becquerel ne s'applique pas.

On devrait avoir

$$\sqrt{\left(\frac{I}{I_0}\right)_{20^\circ}} = \cos^2 20^\circ \times e^{\frac{-k_0 z}{\cos 20^\circ}} + \sin^2 20^\circ \times e^{\frac{-k_{90} \times z}{\cos 20^\circ}};$$

or

$$\log e^{-k_0 z} = 0,12803,$$

d'où

$$\log e^{\frac{-k_0 z}{\cos 20^\circ}} = -0,1362.$$

On en déduit

$$\cos^2 20^\circ e^{\frac{-k_0 z}{\cos 20^\circ}} = 0,6453;$$

C.

le terme $\sqrt{\left(\frac{I}{I_0}\right)_{20}}$ est égal à 0,5637; il est inférieur à

$$\cos^2 20^\circ \times e^{\frac{-k_0 z}{\cos 20^\circ}}.$$

3° *Expériences sur une tourmaline verte perpendiculaire à l'axe.*

Lumière jaune du sodium. Épaisseur : 1^{mm}, 27.

J'ai d'abord vérifié que *l'absorption de la lumière est la même, quel que soit le sens de propagation du rayon suivant l'axe.*

1° La lumière traverse normalement le cristal dans un sens :

$$\frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_0 = -0,40273.$$

2° La lumière traverse normalement le cristal dans le sens opposé :

$$\frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_0 = -0,398765.$$

Nouvelle vérification de la formule

$$m_\omega = m_0 \cos^2 \omega + m_{90} \sin^2 \omega.$$

On a étudié la tourmaline dans trois positions :

Normale au faisceau,
Inclinée de 20°,
Inclinée de 40°.

$\omega = 0^\circ$:

Compensateur.
Tambour. Index.

6,3 47
21,2 39

$$\left. \begin{array}{l} \alpha' = 18^\circ 27' \\ \alpha = 52^\circ 28' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_0 = -0,40273 :$$

d'où

$$m_0 = 1,460.$$

$\omega = 20^\circ$:

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
21,0	32	$\left. \begin{array}{l} \alpha' = 19^\circ 3' \\ \alpha = 52^\circ 9' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{20^\circ} = -0,38368;$
6,7	14	

d'où

$$m_{20} = 1,307,$$

$\omega = 40^\circ$:

Compensateur.		
Tambour.	Index.	
21,1	35	$\left. \begin{array}{l} \alpha = 52^\circ 17' \\ \alpha' = 21^\circ 18' \end{array} \right\} \frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{40^\circ} = -0,33799;$
7,7	14	

d'où

$$m_{40} = 0,9389.$$

La première et la troisième expérience donnent

$$\log m_{90} = \overline{1},29769;$$

on peut alors calculer m_{20° , on trouve

$$1,460 \cos^2 20^\circ + m_{90} \sin^2 20^\circ = 1,3132,$$

nombre qui diffère très peu de la valeur trouvée directement.

CRISTAUX BIAxes. — Les cristaux orthorhombiques dichroïques (andalousite, cordiérite) sont généralement très impurs; leur étude n'apprend, d'ailleurs, rien de nouveau.

Cristaux clinorhombiques. — On fait tourner une plaque d'un cristal clinorhombique (épidote), parallèle au plan de symétrie g_1 , autour d'une de ses directions principales d'élasticité optique; dans ces conditions, on trouve que l'absorption de la vibration perpendiculaire à l'axe de rotation peut être représentée par la formule

$$m_\omega = m_0 \cos^2 \omega + m_{90} \sin^2 \omega.$$

Les lames d'épidote, taillées perpendiculairement à l'axe binaire, sont généralement très impures : indépendamment de la macle parallèle à h_1 , elles présentent des strates de matière colorante et, comme dans la tourmaline, des zones concentriques autour de l'axe.

Il faut n'utiliser qu'une portion très faible de la plaque choisie parmi les plus pures et de vérifier préalablement l'égalité des plages du spectrophotomètre pour des positions de la plaque symétriques par rapport à l'axe du colimateur C_3 .

Expériences sur une épidote parallèle à g_1 .

Épaisseur : 0^{mm},807.

Lumière jaune du sodium.

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_0 &= -0,11804 \\ \frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{20} &= -0,17325 \\ \frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{30} &= -0,24618 \end{aligned} \right\} \quad \text{d'où} \quad \left\{ \begin{aligned} m_0 &= 0,6734 \\ m_{20} &= 0,9288 \\ m_{30} &= 1,217 \end{aligned} \right.$$

Les deux premières expériences donnent

$$\log m_{30} = 0,45591;$$

la première et la troisième,

$$\log m_{30} = 0,45453.$$

La formule de M. Becquerel ne représente pas bien les résultats précédents.

Conclusions. — Les expériences précédentes montrent très nettement qu'une seule exponentielle suffit pour représenter les phénomènes; elles sont complètement d'accord avec la théorie de l'ellipsoïde d'absorption, mais elles n'indiquent nullement si les axes de cet ellipsoïde coïncident, pour les deux derniers systèmes cristallins, avec les axes principaux de l'ellipsoïde d'élasticité optique.

D'ailleurs, une question capitale se pose : comment concilier cette théorie de l'ellipsoïde d'absorption avec les expériences de M. Laspeyres et de M. Ramsay?

Faut-il abandonner la théorie de l'ellipsoïde d'absorption et recourir à une théorie plus compliquée, comme celle de Voigt, qui rend compte des dissymétries observées par ces expérimentateurs?

Telles sont les questions qu'il faut maintenant aborder.

CHAPITRE IV.

SUR LA DISSYMMÉTRIE DES PHÉNOMÈNES D'ABSORPTION DANS LES CRISTAUX MONO ET TRICLINIQUES.

Comme deux directions symétriques au point de vue cristallographique sont aussi équivalentes au point de vue physique, la coïncidence des axes d'élasticité optique et des axes de symétrie des phénomènes d'absorption est évidente pour les cristaux uniaxes et pour les cristaux orthorhombiques parmi les biaxes. C'est ce que l'expérience a constamment vérifié.

On a admis longtemps que la même coïncidence existait pour les cristaux monosymétriques et asymétriques, et les divers physiciens qui ont fait des mesures d'absorption se sont contentés généralement de déterminer les absorptions dans les trois directions principales d'élasticité optique (Haidinger, Hagen, Beer, Grailich, Pulfrich, etc.).

M. Laspeyres ⁽¹⁾, en 1880, et M. Ramsay ⁽²⁾, en 1887, ont montré que cette hypothèse n'est pas rigoureuse.

MÉTHODE DE M. LASPEYRES.

Il opère sur l'épidote. A l'une des extrémités du cristal, il taille un cylindre dont les génératrices sont parallèles

⁽¹⁾ *Loc. cit.*

⁽²⁾ *Loc. cit.*

à l'axe binaire; à l'autre extrémité, les faces naturelles du cristal permettent de rapporter les directions du cylindre aux directions cristallographiques et, par conséquent, aux directions principales de l'ellipsoïde d'élasticité optique. Le cristal est installé dans la pince d'un goniomètre à réflexion dont l'axe de rotation coïncide avec l'axe du cylindre. Une lampe éclaire le cristal; entre la lampe et le cristal se trouve un nicol, qui polarise la lumière perpendiculairement au plan de symétrie du cristal. Deux écrans percés de fentes étroites, parallèles aux génératrices du cylindre, limitent le faisceau lumineux qui traverse le cristal.

Dans ces conditions, lorsqu'on tourne le cristal, sa coloration vue à travers les fentes varie, puisque la vibration lumineuse traverse la même épaisseur du cristal dans les diverses directions du plan de symétrie.

M. Laspeyres a trouvé, par ce procédé, que les directions d'absorption maxima et minima pour une couleur déterminée ne coïncident pas avec les axes d'élasticité optique correspondants et, de plus, *que ces directions ne sont pas rectangulaires.*

Cette méthode peut certainement montrer la non-coïncidence avec les axes principaux d'élasticité optique des directions d'absorption maxima et minima, mais *elle est trop peu précise pour prouver l'obliquité de ces directions.*

D'ailleurs, les erreurs de taille du cylindre peuvent altérer les couleurs observées et introduire des erreurs considérables.

EXPÉRIENCES DE M. RAMSAY.

Dans *deux* cristaux d'épidote aussi identiques et aussi homogènes que possible, on taille *huit* lames parallèles à l'axe binaire et réparties régulièrement autour de celui-ci,

deux lames consécutives faisant par conséquent entre elles un angle de $22^{\circ} 30'$. On détermine pour chacune de ces lames le rapport entre l'absorption de la vibration située dans le plan de symétrie et l'absorption de la vibration dirigée suivant l'axe binaire (absorption qui est supposée constante); comme ces lames ont des épaisseurs différentes, on calcule, en appliquant la loi exponentielle, la valeur de ces rapports par une même épaisseur (1^{mm}) des diverses lames. Sur chacune des huit directions du plan de symétrie, on porte la valeur correspondante du rapport des absorptions; la courbe obtenue représente la variation de l'absorption avec la direction de la vibration dans le plan de symétrie.

L'appareil employé est très simple : de la lumière monochromatique et polarisée rectilignement par un nicol éclaire la lame cristalline, qu'on place devant l'ouverture d'une loupe d'Haidinger; les sections du spath sont parallèles aux sections principales de la lame. Le nicol polariseur est mobile au centre d'un cercle divisé; lorsque l'alidade est au zéro, la section principale du nicol est parallèle à l'axe binaire du cristal; en tournant le nicol d'un angle β à partir de cette position, on amène les deux plages à l'égalité : le rapport des coefficients de transmission des vibrations parallèles et perpendiculaires au plan de symétrie est égal à $\cot^2 \beta$.

M. Ramsay a retrouvé les résultats de M. Laspeyres.

CRITIQUE DES EXPÉRIENCES PRÉCÉDENTES.

1° Les impuretés des cristaux (fissures, inclusions) empêchent d'avoir des plages propres, ce qui nuit beaucoup à la précision des mesures photométriques.

La méthode employée exige une homogénéité *complète* des plages, puisque *les parties des plages qu'on amène*

à l'égalité sont les images de portions différentes du cristal ⁽¹⁾.

2° M. Ramsay admet que la vibration parallèle à l'axe binaire a un coefficient d'absorption constant dans les différentes plaques employées et que les deux vibrations parallèles et perpendiculaires à l'axe binaire sont également atténuées par les fissures et les inclusions qui souillent les cristaux. Cette dernière remarque est juste, à moins que ces fissures et ces inclusions ne soient réfléchissantes; mais la première ne l'est pas : des expériences faites avec le spectrophotomètre à compensateur, soit plus simplement avec l'appareil à lame demi-onde, m'ont montré que *le rapport entre les absorptions des deux vibrations situées l'une suivant l'axe binaire, l'autre dans une direction constante du plan de symétrie, n'est pas constant dans les différentes régions d'un cristal, même très pur* ⁽²⁾.

En étudiant l'homogénéité des plaques d'épidote par les deux méthodes indiquées plus haut (1° méthode de la loi exponentielle, 2° méthode de la plaque normale aux grandes faces du cristal), je n'ai guère trouvé que des portions de *quelques millimètres carrés* (2 ou 3) remplissant toutes les conditions désirables de pureté, et pourtant les cristaux que j'avais à ma disposition paraissaient très purs.

Dans les courbes de M. Ramsay la dissymétrie est surtout accusée pour une plaque [la même, quelle que soit la couleur, c'est la plaque III, Tafel IV (*Zeitsch. f. Krystall. und Min.*, Bd. 13)].

3° Une autre cause d'erreur très grave est le défaut de taille des lames cristallines. Les erreurs d'orientation

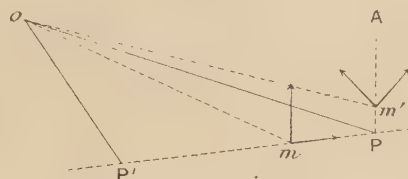
⁽¹⁾ Les photomètres généralement employés pour l'étude de l'absorption de la lumière par les cristaux présentent cet inconvénient.

⁽²⁾ Les cristaux d'épidote que j'ai employés n'avaient ni fissures, ni inclusions.

peuvent atteindre 1° et même 2° ; elles ne sont pas en général bien importantes, excepté pour des lames *presque normales aux axes optiques*.

Dans l'épidote, le plan de symétrie est le plan des axes optiques oP , oP' ; une plaque normale à une direction om du plan de symétrie, voisine de oP , admet pour directions principales de vibrations PP' et la parallèle AP à l'axe binaire. Au contraire, une lame normale à om' (direction voisine de oP , mais non située dans le plan de symétrie) admet pour directions principales deux droites à 45° de PP' et de AP (voir *fig. 9*).

Fig. 9.



La dissymétrie des courbes de M. Ramsay est surtout accusée au voisinage des axes optiques.

Les remarques précédentes m'ont engagé à reprendre les expériences de M. Ramsay.

EXPÉRIENCES SUR LES CRISTAUX DISSYMMÉTRIQUES.

La méthode employée a été décrite page 35.

Les cristaux étudiés appartiennent aux systèmes clinorhombique et triclinique. Les cristaux clinorhombiques sont taillés parallèlement à un plan principal passant par l'axe binaire, les cristaux tricliniques suivant un quelconque des trois plans principaux. Les mesures photométriques se rapportent à la radiation pour laquelle la lame a été orientée.

On place le cristal dans la pince p (voir p. 35); un axe C.

principal (l'axe binaire si le cristal est clinorhombique) coïncide avec l'axe de rotation. Deux nicols, dont les sections principales sont respectivement parallèles aux sections principales de la lame, sont placés de part et d'autre de celle-ci. Lorsque le cristal est bien réglé, l'extinction doit persister pendant la rotation du cristal. Quand la lame est perpendiculaire à une bissectrice aiguë, il faut, pour que l'extinction persiste pendant toute la rotation, employer un faisceau de rayons bien parallèles.

On peut aussi orienter le cristal au moyen d'un microscope polarisant muni d'un réticule; le cristal est réglé lorsque, par des rotations convenables, on peut amener successivement chaque extrémité des axes optiques en coïncidence avec la croisée des fils du réticule.

Les houppes d'Haidinger peuvent aussi servir pour un premier réglage.

EXPÉRIENCES QUALITATIVES.

1° *Les maxima et minima d'absorption ne coïncident pas avec les axes principaux d'élasticité optique.*

Cette proposition n'a pas été démontrée seulement par M. Laspeyres et M. Ramsay. M. Becquerel ⁽¹⁾ l'a mise en évidence dans différents sels par l'observation des spectres d'absorption.

J'ai tenu néanmoins à la démontrer en toute rigueur. J'ai étudié pour cela l'absorption de la vibration parallèle à l'axe de rotation (parallèle à l'axe binaire dans les cristaux clinorhombiques). J'ai montré que cette absorption est bien symétrique, lorsqu'on fait tourner le cristal d'angles égaux à droite et à gauche de l'axe du collimateur C_3 , et qu'elle suit la loi exponentielle. J'ai ensuite étudié la vibration perpendiculaire à l'axe de rotation (située dans le plan de symétrie pour les cristaux clinorhombiques) et

(¹) *Loc. cit.*

j'ai trouvé que l'égalité des plages du spectrophotomètre n'a pas lieu pour des inclinaisons égales de la lame à droite et à gauche de l'axe du collimateur C_3 .

Cristaux naturels.

Épidote (clinorhombique). — Lumière jaunie du sodium.

Homogénéité de la lame.

L'absorption de la vibration parallèle à l'axe binaire (axe de rotation) suit bien la loi exponentielle.

La lame est normale : $\omega = 0$.

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
20,7	15	$\alpha = 52^\circ 41'$	$\frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_0 = -0,3295$
7,3	45	$\alpha' = 21^\circ 53'$	

La lame est inclinée de 30° sur l'axe du collimateur C_3 : $\omega = \pm 30^\circ$.

Compensateur.			
Tambour.	Index.		
20,7	15	$\alpha = 52^\circ 41'$	$\frac{1}{2} \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{30} = -0,3749$;
6,3	46	$\alpha' = 19^\circ 36'$	

on trouve

$$\log \frac{0,3295}{0,3749} = \bar{1},94341,$$

nombre peu différent de $\bar{1},93753$ qui est le logarithme de $\cos 30^\circ$.

L'absorption de la vibration située dans le plan de symétrie n'est pas la même quand on tourne la lame à droite et à gauche de l'axe du collimateur C_3 .

Inclinaison de la lame sur l'axe du collimateur C_3 .	Compensateur.	
	Tambour.	Index.
— 20..... ⁰	12,3	45
+ 20.....	15,3	43
0.....	14,7	15
— 30.....	10,4	49
+ 30.....	14,2	43
0.....	15,1	35

Axinite (triclinique). — La dissymétrie de l'absorption est manifeste. J'ai fait tailler une lame parallèlement à l'un des plans principaux d'élasticité optique; ce plan était choisi de façon que la teinte de la lame subisse, par suite de son inclinaison sur les rayons lumineux, une variation notable.

L'axe de rotation étant parallèle à une des directions principales, j'ai observé que l'absorption de la vibration parallèle à l'axe de rotation était bien symétrique, quand on tournait la lame d'angles égaux à droite et à gauche de l'axe du collimateur C_3 .

Au contraire, l'absorption de la vibration perpendiculaire à l'axe de rotation était tout à fait dissymétrique.

On voit d'ailleurs très bien le phénomène en lumière blanche; la vibration parallèle à l'axe de rotation subit une absorption faible; elle reste à peu près blanche quand on tourne la lame dans un sens ou dans l'autre.

Au contraire, lorsque les vibrations qui éclairent la lame sont perpendiculaires à l'axe de rotation, la teinte de celle-ci est rose quand on la tourne dans un sens, brune lorsqu'on la tourne en sens inverse. Cette dissymétrie très notable ne peut pas être expliquée par la dispersion des axes optiques.

Cristaux « colorés chimiquement ».

Sulfate double de potassium et de cobalt (clino-rhombique). — M. Joly, directeur du laboratoire de

Chimie de l'École Normale, a bien voulu mettre à ma disposition de très beaux échantillons de ce sel.

Lumière jaune du sodium. — Expériences sur une lame perpendiculaire à la bissectrice obtuse. — Vibration parallèle à l'axe de symétrie. — La lame est plongée dans le sulfure de carbone.

Inclinaison de la lame sur l'axe du collimateur C ₂ .	Compensateur.	
	Tambour.	Index.
+ 20°.....	18,5	5
— 20°.....	18,7	12
+ 30°.....	17,5	4
— 30°.....	17,4	48
+ 40°.....	16,4	0
— 40°.....	16,5	7

L'absorption est bien symétrique; elle suit d'ailleurs la loi exponentielle.

Lorsqu'on place devant la fente f_3 la cuve vide, l'égalité des deux plages a lieu lorsque le compensateur marque

12,5 5 angle correspondant 33° 47'.

Lorsqu'on remplace la cuve vide par celle qui contient le cristal, si celui-ci est normal à l'axe du collimateur C₃, le compensateur marque, lorsque l'égalité des plages est réalisée,

8,1 35 angle correspondant 23° 42'.

En faisant tourner le cristal de 40°, il faut, pour rétablir l'égalité, amener le compensateur à

7 31 angle correspondant 21° 12'.

on a

$$\log \left(\frac{I}{I_0} \right)_0 = -0,14095, \quad \log \left(\frac{I}{I_0} \right)_{40} = -0,18686,$$

et, si la loi exponentielle s'applique, on doit avoir

$$\frac{14095}{18686} = \cos 40^\circ;$$

c'est bien ce qui a lieu :

$$-\log \frac{18686}{14095} = 1,87773 \quad \text{et} \quad \log \cos 40^\circ = 1,88425.$$

La différence entre ces deux nombres est bien faible ; on peut d'ailleurs l'attribuer aux impuretés du cristal.

L'absorption de la vibration située dans le plan de symétrie n'est pas symétrique.

Inclinaison de la lame sur l'axe du collimateur C_3 .	Compensateur.	
	Tambour.	Index.
+ 30..... ⁰	16,3	48
— 30.....	19,4	2
+ 40.....	14,5	7
— 40.....	18,2	40

Le sulfate double de cuivre et de cobalt présente des phénomènes analogues, mais les cristaux de ce sel ne sont pas assez purs pour permettre des mesures photométriques.

Cristaux colorés accidentellement.

Sel de « de Senarmont » ⁽¹⁾. — L'azotate de strontiane (clinorhombique), cristallisant dans une dissolution saturée de bois de campêche, devient très fortement dichroïque. La vibration parallèle à l'axe binaire a une teinte rouge foncé : la vibration perpendiculaire est beaucoup moins absorbée ; elle prend, à la sortie du cristal,

(¹) DE SENARMONT, *Ann. de Chimie et de Physique*, t. XLI, p. 319; 1854. — ROSENBUCH, *Mikrosk. Physiog. der Miner.*, Stuttgart, 1873. — SEHER THOSS, *Wied. Ann.*, t. VI, p. 270; 1879.

une teinte pourpre vineux. Le plan de symétrie est le plan des axes optiques.

L'absorption de la vibration située dans le plan de symétrie se fait symétriquement par rapport aux axes d'élasticité optique.

Une lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë montre deux houppes et les colorations sont bien symétriquement disposées de part et d'autre de la bissectrice.

En faisant des mesures sur une lame perpendiculaire à la bissectrice obtuse, j'ai trouvé également que l'absorption était symétrique; une fois seulement, l'absorption m'a paru dissymétrique, mais *la dissymétrie affectait aussi la vibration parallèle à l'axe binaire*. Le cristal qui a présenté cette particularité était, d'ailleurs, hétérogène.

Les mesures sont particulièrement délicates; le sel de Senarmont s'altère très facilement à l'air; il faut le plonger constamment dans le pétrole et éviter toute élévation de température.

Les lames sont généralement impures, surtout celles qui sont perpendiculaires à la bissectrice obtuse.

En définitive, les expériences précédentes montrent nettement que la dissymétrie annoncée par MM. Becquerel, Ramsay, Laspeyres existe réellement pour les cristaux clinorhombiques et tricliniques naturels ou colorés chimiquement et qu'elle n'existe pas pour les cristaux colorés accidentellement.

Nous devons maintenant nous demander quelle loi suit cette dissymétrie.

Les directions d'une vibration lumineuse située dans le plan de symétrie d'un cristal clinorhombique ou dans un plan principal d'un cristal triclinique et qui correspondent au maxima et au minima d'absorption sont-elles réellement obliques, comme le prétendent MM. Ramsay et Laspeyres?

La théorie de l'ellipsoïde d'absorption est-elle réellement incompatible avec les expériences précédentes?

EXPÉRIENCES QUANTITATIVES.

M. Drude ⁽¹⁾ a montré que les expériences de M. Ramsay étaient représentées assez approximativement par la formule

$$(1) \quad m_{\omega} = m_0 \cos^2 \omega + m_{90} \sin^2 \omega + 2k \sin \omega \cos \omega.$$

m_{ω} étant le coefficient d'absorption d'une vibration située dans le plan de symétrie d'un cristal clinorhombique et inclinée d'un angle ω sur l'un des axes principaux d'élasticité optique, m_0 étant le coefficient d'absorption de la vibration parallèle à cet axe, m_{90} celui de la vibration parallèle à l'autre axe principal.

Néanmoins, l'accord ne peut être complet puisque cette formule suppose que les deux directions d'absorption maxima et minima sont rectangulaires, conclusion qui n'est pas admise par M. Ramsay.

Toutes les expériences que j'ai faites sur l'épidote m'ont montré que *la formule (1) représente complètement les phénomènes.*

EXPÉRIENCES SUR L'ÉPIDOTE.

Dans une épidote très pure, on taille deux petites plaques, l'une perpendiculaire à la bissectrice obtuse, l'autre à la bissectrice aiguë.

En faisant tourner la première plaque à droite et à gauche de l'axe du collimateur C_3 , on trouve :

(1) *Loc. cit.*

Lumière jaune
du sodium.

$$\begin{array}{ll} m_0 = 0,7905 & m_{-10} = 0,9984 \\ m_{+20} = 0,6395 & m_{-20} = 1,257 \\ m_{+30} = 0,7004 & m_{-30} = 1,523 \\ & m_{-40} = 1,800 \end{array}$$

Si la formule (1) représente bien les résultats, la courbe ayant pour abscisses :

$$\text{les valeurs de } x = \frac{m_\omega - m_0 \cos^2 \omega}{\sin^2 \omega}$$

et pour ordonnées :

$$\text{les valeurs de } y = \cot \omega,$$

doit être une droite.

On trouve :

ω .	y .	x observé.	x calculé en supposant que la courbe est une droite.
+ 30...	+ 1,732	+ 0,43	+ 0,44
+ 20...	+ 2,748	— 0,501	— 0,49
— 10...	— 5,671	+ 7,685	+ 7,59
— 20...	— 2,748	+ 4,779	+ 4,75
— 30...	— 1,732	+ 3,72	+ 3,76
— 40...	— 1,192	+ 3,233	+ 3,21

L'abscisse à l'origine de la droite donne

$$m_{90} = 2,123.$$

L'expérience directe faite sur la lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë a donné

$$m_{90} = 2,075.$$

Ces expériences ⁽¹⁾ montrent nettement que les direc-

(1) L'épidote plongeait dans le sulfure de carbone; comme ce liquide n'a pas un indice identique à celui du cristal, on étudiait celui-ci sous deux épaisseurs différentes; les nombres indiqués ici sont donc corrigés de l'influence des réflexions, qui, d'ailleurs, est très faible.

tions d'absorption maximum et minimum sont rectangulaires pour la lumière jaune du sodium.

EXPÉRIENCES DIRECTES.

J'ai tenu à vérifier *directement* les résultats précédents.

Le calcul des expériences précédentes montre que la direction qui correspond à l'absorption minimum fait un angle de

$$+ 18^{\circ} 15'$$

avec la bissectrice obtuse.

J'ai fait tailler une lame normale à cette direction et la lame perpendiculaire dans une épidote identique à celle qui venait de me servir.

Les deux lames ainsi obtenues présentent une absorption tout à fait symétrique, lorsqu'on les fait tourner d'angles égaux à droite et à gauche de l'axe du collimateur C_3 , tout comme si elles étaient taillées dans un cristal uniaxe ou orthorhombique. Cette symétrie n'a d'ailleurs lieu que pour la couleur qui a servi à orienter la lame pendant la taille (lumière jaune du sodium).

Pour que l'expérience réussisse bien, il faut prendre, lorsqu'on arrive au voisinage des axes optiques, les précautions indiquées plus haut.

Posons

$$\mu_{\omega} = m_{(\omega + 18^{\circ} 15')},$$

la première lame donne

$$\mu_0 = 0,6319,$$

$$\mu_{\pm 30} = 0,9648,$$

$$\mu_{\pm 40} = 1,178;$$

d'où l'on déduit, en appliquant la formule

$$\mu_{\omega} = \mu_0 \cos^2 \omega + \mu_{90} \sin^2 \omega,$$

les deux valeurs

$$\begin{aligned}\log \mu_0 &= 0,29084, \\ \log \mu_{90} &= 0,29305,\end{aligned}$$

qui sont concordantes.

L'expérience directe faite sur l'autre lame donne

$$\mu_{90} = 1,97 \quad \text{et} \quad \log \mu_{90} = 0,2950;$$

toutes les valeurs de μ_{90} trouvées concordent bien. *

La rectangularité des maxima et minima d'absorption pour la lumière jaune du sodium est donc prouvée. M. Ramsay attribuait, au contraire, à ces axes une obliquité très notable (*voir les courbes, loc. cit.*). Mais l'obliquité des maxima et minima d'absorption est encore plus manifeste, d'après le même auteur, pour les radiations peu réfrangibles. Il était donc indispensable de faire des mesures avec des longueurs d'onde considérables. Voici quelques nombres relatifs à la radiation B du spectre solaire (au delà les mesures deviennent très délicates).

$$m_0 = 0,46, \quad m_{90} = 1,56, \quad m_{+45} = 0,31.$$

	Observé.	Calculé.
$m_{-45} \dots \dots \dots$	1,69	1,71
$m_{-60} \dots \dots \dots$	1,94	1,891
$m_{+60} \dots \dots \dots$	0,693	0,673
$m_{-30} \dots \dots \dots$	1,365	1,341
$m_{+30} \dots \dots \dots$	0,126	0,129

L'accord entre le calcul et l'observation est satisfaisant.

CONCLUSIONS.

Nous avons indiqué au début de ce travail une nouvelle méthode spectrophotométrique et les avantages qu'elle présente sur les méthodes précédemment employées. Nous avons vérifié avec soin que cette méthode ne comporte pas d'erreurs systématiques; sa sensibilité est limitée

seulement par la sensibilité de l'œil. Nous avons déterminé la sensibilité de l'œil dans les différentes régions du spectre et nous sommes arrivé à quelques résultats pratiques relatifs à la fatigue de cet organe, et aux précautions à prendre dans les mesures photométriques.

Nous avons appliqué cette méthode à l'étude des cristaux pléochroïques. L'homogénéité des cristaux soumis à l'expérience a été vérifiée par deux méthodes :

- 1° Par la méthode de la loi exponentielle ;
- 2° Par l'étude d'une plaque normale aux grandes faces du cristal.

Nous sommes arrivé aux résultats suivants :

- 1° Les équations de vibration de l'éther dans les milieux étudiés :

tourmaline ;
épidote ;
ferricyanure de potassium ;
andalousite

sont linéaires.

- 2° Une seule exponentielle suffit pour représenter l'absorption d'une vibration oblique par rapport aux axes d'élasticité optique et la théorie de l'ellipsoïde d'absorption représente bien les phénomènes dans les cristaux symétriques.

3° Pour les cristaux dissymétriques (clinorhombiques et tricliniques) la théorie de l'ellipsoïde d'absorption telle qu'on la fait d'ordinaire ne convient pas, il faut du moins admettre que les axes de l'ellipsoïde d'absorption ne coïncident pas avec ceux d'élasticité optique. Avec cette restriction, la théorie de l'ellipsoïde d'absorption représente bien les phénomènes.

- 4° L'obliquité des axes d'absorption maxima et minima avec les directions principales d'élasticité optique (pour les vibrations situées dans le plan de symétrie, dans le cas des cristaux clinorhombiques et pour les vibrations

situées dans n'importe quel plan principal pour les cristaux tricliniques) est un fait général dans les cristaux naturels et dans les cristaux *colorés chimiquement*.

Nous avons vérifié cette obliquité pour :

l'épidote;
le sulfate double de cuivre et de cobalt;
le sulfate double de potassium et de cobalt
et pour l'axinite.

5° Dans les cristaux dissymétriques colorés *artificiellement* (sel de de Senarmont) les maxima et minima d'absorption *coïncident* au contraire avec les axes d'élasticité optique.

Tous les résultats obtenus *indirectement* ont été, en même temps, vérifiés par des méthodes directes.

Qu'il me soit permis, en terminant, de remercier tous ceux qui se sont intéressés à mon travail, en particulier MM. Violle et Brillouin, maîtres de conférences de Physique à l'École Normale, qui m'ont admis dans leurs laboratoires et n'ont cessé de me prodiguer leurs précieux conseils, M. Dufet, maître de conférences de Minéralogie à l'École Normale, et M. J. Werlein qui m'a rendu un très grand service en m'initiant à la taille des cristaux.

Vu et approuvé :

Paris, le 15 novembre 1894.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,
G. DARBOUX.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 16 novembre 1894.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
GRÉARD.



SECONDE THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Stéréochimie.

Vu et approuvé :

Paris, le 15 novembre 1894.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,
G. DARBOUX.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 16 novembre 1894.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
GRÉARD.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

21578

Quai des Grands-Augustins, 55.
